

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГОРЯЧЕЙ РАЗРЕЗКИ ЗАГОТОВОК

NEW TECHNOLOGY HOT CUTTING OF BILLETS

Буркин С.П., Бабайлов Н.А.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, spb@mtf.ustu.ru

The modern state technology of the separation process in metal forming. Proposed and analyzed a new method of waste-free hot cutting of bar stock. Displaces several radial blades crowding out metal, forming a pyramidal face surfaces. The new method of cutting investigated on a laboratory experimental four-blade shearc installation. Theoretically described dependence of the shape end faces the workpiece of the configuration working parts of the blades. Defined force parameters multi-blade cutting with a shift.

Keywords: cutting of bars, cutting with a shift, form end faces billets, cutting of efforts.

Автоматизированная беспереналадочная ковка машиностроительных заготовок на РОМ или обрабатывающих центрах предполагает подачу длинномерных или непрерывных заготовок. Способ их резки является важным элементом технологии, поскольку определяет размерную точность, объем технологических отходов и наличие дефектов в зоне резки, влияющих на качество поковки и будущих деталей машин.

При ковке предварительно отрезанной от прутка заготовки к последней предъявляются требования отсутствия значительной продольной и поперечной утяжки, отсутствия как торцевых, так и боковых заусенцев, отсутствия вырывов, резцов, заколов и трещин, поскольку перечисленные дефекты затрудняют удержание заготовки бойками ковочного блока (выполняющего роль манипулятора) и создают опасность дефектности концевой части ковочной заготовки ступенчатого вала.

В случае отделения готовой поковки от прутковой заготовки к качеству резки предъявляются требования отсутствия неоднородности поверхности реза, трещин поперечных и торцевых, наплывов, вырывов, резцов, заколов, а также отсутствия волнистости и ступенчатости торца, так как эти дефекты увеличивают припуск на механическую обработку и затрудняют установку ковочной заготовки на металлорежущем оборудовании. Следовательно, необходимо регламентировать искажение формы концов поковки и допуска на длину, от чего зависят трудоемкость механической обработки, коэффициент использования металла и качество металла в приторцевых зонах. При проектировании отрезки заготовки под последующую механическую обработку возможны два предельных случая [1]. В одном случае изготовленная деталь будет иметь длину l_{\min} и диаметр $d_1 = d - 2f$, в другом – длину $l_1 = l - b_{\text{п}} - b_3$ и диаметр d . Здесь $b_{\text{п}}$ и b_3 – длины передней и задней частей поковки, которые подлежат удалению механической обработкой по условию получения качественной детали; легко понять, что $b_{\text{п}} + b_3 = 2n$, где n – длина зоны смятия от внедрения ножа.

Анализируя современное состояние развития технологии разделительных процессов с целью выбора способа резки прутковых заготовок, пригодного для реализации на автоматической ковочной машине, можно сделать вывод о целесообразности применения кузнечной рубки, как наиболее простого и надежного среди известных способов разделения проката и непрерывно-литого слитка. Разрезка скручиванием характеризуется как способ, технически трудноосуществимый и не дающий возможности получать заготовки с бездефектной торцевой поверхностью. Способ резки проката в штампах является наиболее исследованным и технически разработанным и, в принципе, пригодным для использования в технологииковки стальных ступенчатых валов. Однако следует учесть, что реализация данного способа изначально ограничивает технологические возможности проектируемой машины, поскольку разрезку проката можно организовать только доковки, когда возможно подобрать ножи-втулки по заранее известному диаметру проката. Отделение же поковки этим методом практически нереализуемо из-за широкого сортамента изготавливаемых заготовок валов и из-за наличия отдельных типоразмеров валов ступеней, спускающихся в сторону необработанной части прутковой заготовки. Отрезка перед ковкой допустима только для сравнительно длинных валов, которые удобно обрабатывать ковкой, удерживая один конец заготовки в бойках одного из ковочных блоков. Кроме того, разделение проката в штампах дает удовлетворительное качество торцевой поверхности (без утяжек и волнистости) лишь при наличии значительного осевого сжатия или после предварительного редуцирования прутка в матрице; однако в обоих случаях качество отрезки обеспечивается хорошим состоянием режущих кромок ножей-втулок. Эти требования трудно выполнимы в случае использования разрезных штампов на автоматической беспереналадочной ковочной машине, так как отсутствие постоянного контроля состояния ножей и их настройки будет приводить к появлению боковых и торцевых заусенцев и к невозможности дальнейшейковки валов из-за заклинивания заготовки в бойках ковочной машины.

Разрезка проката или отделение готовой поковки от прутка гильотинными ножницами технически осуществляется достаточно просто и не сужает технологические возможности процесса, но не обеспечивает бездефектной разрезки заготовок. Значительная боковая утяжина и заусенец затрудняют или делают невозможным автоматический ввод заготовки в раствор бойков и существенно увеличивают отходы металла при механической обработке. С точки зрения необходимости постоянного контроля над состоянием режущего инструмента и его настройкой гильотинные ножницы лишены преимуществ по отношению к разрезным штампам.

Способы отрезки с отходами металла при анализе не рассматривались, вследствие их непригодности для автоматизированных процессовковки, из-за сложности удаления отходов из зоны обработки.

Учитывая перечисленные недостатки известных способов разделения прутковых заготовок, в качестве технологической основы для предлагаемого способа горячей резки катаных или непрерывнотянутых длинномерных заготовок выбрана кузнечная рубка топорами. Разница состоит в том, что рубка осуществляется одновременно несколькими топорами (ножами), перемещающимися синхронно от общего или индивидуального приводов к центру разрезаемой заготовки и одновременно смещающимися в плоскости разрезки в перпендикулярном радиусу направлении. Ножи (три и более) при рабочем движении в сопряжении формируют замкнутый контур (многогранный), число граней которого равно числу использованных ножей.

Конструкция отрезного блока, реализующая этот способ резки, может быть аналогична четырехбойковому ковочному блоку. Если бойки ковочного блока имеют малую ширину, то он превращается в блок разрезки.

В отличие от рубки топорами в традиционном кузнечном производстве процесс многоножевой резки осуществляется с приложением со стороны ножей дополнительных сдвиговых напряжений, обеспечивающих согласно условию текучести снижение нормальных напряжений, необходимых для пластического формоизменения. Таким образом, резка со сдвигом является разновидностью процессов ОМД с активным действием сил контактного трения.

Процесс многоножевой резки принципиально отличается от всех известных способов разделения заготовок путем осуществления сдвиговой деформации по всему сечению (резка скручиванием, резка в штампах, резка на гильотинных ножницах), когда усилие, прикладываемое к каждому из ножей, равно $P = \tau_s F$, где P – сила, приложенная к ножу;

τ_s – сопротивление сдвигу разрезаемого металла;
 F – площадь поперечного сечения заготовки.

Сила, рассчитываемая по этой формуле, всегда является нижней оценкой реально возникающей силы отрезки заготовки, поскольку не учитывает затраты на преодоление трения между боковыми поверхностями ножей и заготовкой и на осуществление пластической деформации зон, прилегающих к плоскости реза. Чем больше радиус скругления ножей и больше боковой зазор между ножами, тем больший объем металла вовлекается в пластическую деформацию и, следовательно, больше затраты энергии на выполнение операции разделения заготовки. Никакие технологические приемы не могут сделать силу разрезки сдвигом меньше величины произведения $\tau_s F$, а момент кручения концов заготовки при резке скручиванием – меньше, чем

$$2\pi \int_0^R \tau_s r^2 dr = 2/3 \pi R^3 \tau_s = 2/3 R \tau_s F,$$

где R – радиус заготовки.

В анализируемом способе резки деформация сведена к вытеснению металла из-под сближающихся ножей, потому сила, приложенная к ножу, определяется выражением

$$P = p b l,$$

где p – среднее контактное давление на рабочей поверхности ножа;

l – длина контакта ножа с заготовкой;

b – ширина рабочей поверхности ножа.

Величина контактного давления p зависит от сопротивления металла деформации σ_s , контактных условий трения, от соотношения размеров b и l и стремится к σ_s при действии значительных дополнительных сдвиговых напряжений и при стремлении к нулю отношения b/l . Длина контактной поверхности l зависит от диаметра разрезаемой заготовки и меняется на первом этапе, например, четырехножевой резки от 0 до $d/\sqrt{2}$ и от $d/\sqrt{2}$ до 0 – на втором этапе.

Переход от первого этапа резки ко второму характеризуется заполнением металлом просвета между ножами. Максимальная длина контактной поверхности в случае использования n -ножевого устройства резки определяется выражением $l_{\max} = d \sin \pi/n$.

При использовании для разделения заготовки плоского ножа (рис. 1, а) среднее контактное давление p рабочей поверхности ножа на металл определяется из решения методом верхней оценки плоской задачи теории пластичности о выдавливании плоского штампа в пластическое полупространство [2, 3]:

$$p = \tau_s (2 + \pi). \quad (1)$$

Эта формула получена без учета трения на контактной поверхности. При достаточно тонких

ножах, т.е. при малом b , трение в поперечном направлении на рабочей поверхности можно не учитывать и применять при оценочных расчетах формулу (1).

Для случая резки металла ножом со скругленной рабочей поверхностью (рис. 1, б) на первом этапе внедрения ножа в заготовку до момента погружения в металл радиальной части ножа (этот этап на рис. 1, б показан пунктирной линией)

$$p = 2\tau_s (\pi/2 - \alpha + 1 + \operatorname{tg} \alpha/2), \quad (2)$$

а на втором этапе, т.е. при $\alpha = \pi/2$

$$p = 4\tau_s. \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) также получены без учета трения, которое мало при малом b , методом верхней оценки для идеальной жесткопластической среды [4].

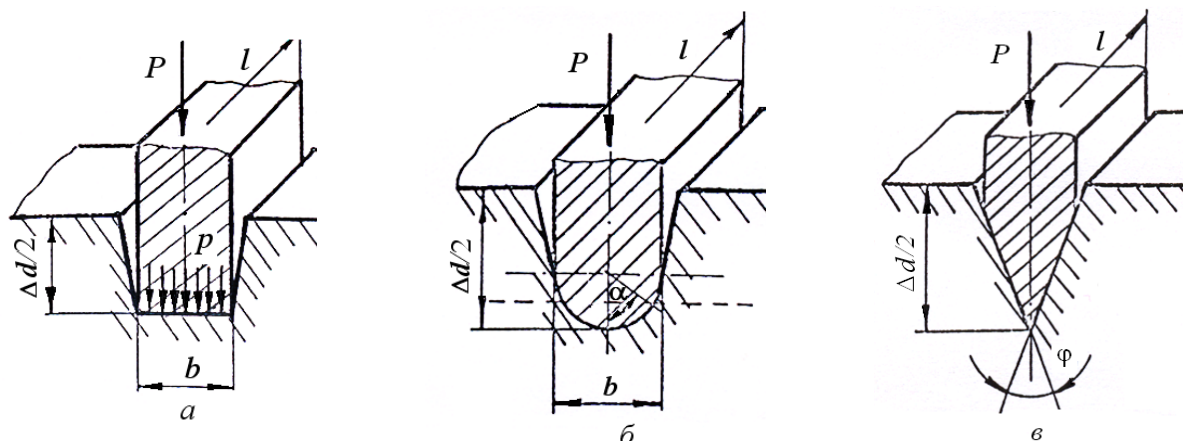


Рис. 1. Схемы разделения заготовки ножами различной формы

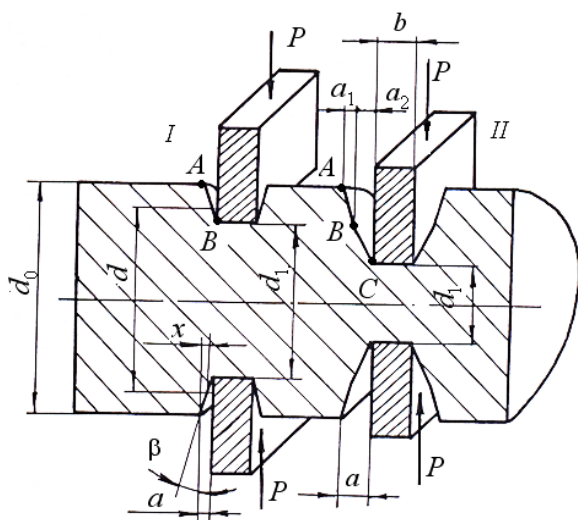


Рис. 2. Расчетная схема резки заготовки: I – первый этап резки

при $\varepsilon = \ln d_0/d_1 \leq 0,346$; II – второй этап резки при $\varepsilon > 0,346$

Третьей разновидностью конфигурации рабочей части ножа, представляющей интерес при разработке технологии резки заготовок, является клиновая (рис. 1, в). В этом случае, как следует из решения плоской задачи внедрения клинового штампа в идеально жесткопластическое полупространство [4]:

$$p = 2\tau_s \left[\frac{\pi}{2} - \alpha + \delta + \frac{\cos \delta}{\cos \alpha} \cos(\alpha - \delta) \right] \quad (4)$$

где $\alpha = 2(\pi - \varphi)$ (см. рис. 1, в);

δ – угол трения на контактной поверхности ножа, по величине которого можно определить контактное напряжение трения

$$\tau = \tau_s \sin 2\delta; \quad 0 \leq \delta \leq \pi/4.$$

Без учета трения на контактной поверхности, т.е. при $\delta=0$, выражение (4) имеет вид

$$p = 2\tau_s (\pi/2 - \alpha + 1).$$

Однако при использовании клиновых ножей вследствие развитой контактной поверхности трение следует учитывать, принимая для случая горячей деформации $\sin 2\delta = 0,6 \dots 0,8$.

Нормальные и касательные контактные напряжения на рабочих поверхностях клинового ножа представляются соответственно следующими выражениями: $\sigma = \tau_s (\pi + 1 + \cos 2\alpha)$;

$$\tau = \tau_s \sin 2\alpha.$$

При действии дополнительных сдвиговых напряжений появляется возможность уменьшения контактных давлений до величины p' , которая может быть определена из рассмотрения условий текучести для плоского деформированного состояния

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = 4\tau_s^2$$

и для случая с наложением дополнительных касательных напряжений τ_{zy} .

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4(\tau_{xz}^2 + \tau_{zy}^2) = 4\tau_s^2 \quad [5].$$

$$p' = p \frac{\sigma_x - 2\sqrt{\tau_s^2(1-\psi^2)} - \tau_{xz}^2}{\sigma_x - 2\sqrt{\tau_s^2 - \tau_{xz}^2}},$$

где ψ – коэффициент трения по Зибелю на контактной поверхности ножей в продольном направлении.

Из выражения для p' видно, что давление снижается с ростом ψ , т.е. введение дополнительных касательных напряжений τ_{xy} способствует уменьшению усилия, прикладываемого к ножам устройства отрезки.

Наиболее эффективным по усилию разрезки является использование ножей с радиальной формой рабочей поверхности (см. рис. 1, б), что следует из анализа выражений (1), (2), (4).

Расчет формоизменения при четырехножевой разрезке проведен в рамках гипотезы (удовлетворительно подтвержденной в экспериментальных исследованиях) о неизменности диаметра заготовки в сечении разрезки. В рамках этого предположения процесс разделения заготовки делится на два этапа. На первом этапе ножи внедряются в заготовку до заполнения металлом просвета между сопряженными ножами. При этом в момент полного заполнения просвета сечение заготовки в плоскости разреза ограничено правильным многоугольником (в рассчитываемом случае – квадратом), вписанным в круглый контур сечения заготовки диаметром d_0 . Принимая в качестве оценки степени деформации при разрезке величину $\varepsilon = \ln d_0/d_1$ (где d_1 – текущее расстояние между двумя смежными бойками в случае резки четырьмя ножами или диаметр окружности, вписанной в просвет между кромками ножей в общем случае), легко определить, что первый этап разрезки оканчивается при $\varepsilon = 0,346$. Схема четырехножевой разрезки приведена на рис. 2, где условно изображены оба этапа разрезки I и II. Принципиальные различия характера деформации на рассматриваемых этапах состоят в том, что на первом этапе возможно течение металла не только поперек ножей, но и вдоль их и, следовательно, часть металла, смещаемая сближающимися ножами, расходуется на заполнение просвета между сопряженными ножами, а остальной металл вытесняется из зоны деформации и формирует зону утяжки, раздвигая жесткие части заготовки. На втором этапе весь металл, вытесняемый ножами, расходуется на формирование зоны утяжки. Раздвигание жестких частей заготовки на втором этапе происходит более интенсивно.

В процессе сближения ножей, т.е. в процессе обжатия заготовки одновременно всеми четырьмя ножами, точка A на рис. 2 перемещается в направлении от бойков, а переход от круглого сечения заготовки к квадратному

сечению осуществляется в общем случае по криволинейной поверхности AB на первом этапе и BC – на втором этапе разрезки. Для упрощения расчета формоизменения криволинейная поверхность AB заменяется плоскостью, наклоненной к оси заготовки под углом β . Как показали экспериментальные исследования процесса четырехножевой резки, такое допущение не приводит к технологически неприемлемым погрешностям в определении длины зоны утяжки a . Неизменность диаметра окружности, описанной вокруг сечения заготовки в зоне разрезки, объясняется тем, что увеличение этого диаметра за счет продольного течения металла, идущего на заполнение просвета между сопряженными в квадратный контур ножами, компенсируется его уменьшением за счет утяжки при смещении жесткой части заготовки металлом, вытесненным из зоны обжатия.

Вводя текущую координату x , характеризующую сечение заготовки в зоне утяжки длиной a , и принимая $x=0$ в сечении точки A и $x=y$ – в сечении точки B , из геометрических соотношений в рамках допущений можно записать выражение для площади поперечного сечения зоны утяжки на первом этапе разрезки:

$$s = d_0^2 \left(z\sqrt{1-z^2} - \arctg \frac{\sqrt{1-z^2}}{2} + \frac{\pi}{4} \right),$$

$$\text{где } z = 1 - \frac{x}{a}(1 - e^{-\varepsilon}); \quad \varepsilon = \ln \frac{d_0}{d_1}.$$

Величина z представляет относительный диаметр вписанной окружности в рассматриваемое поперечное сечение зоны утяжки; $z = d/d_0$.

Легко убедиться, что $S|_{\varepsilon=0,346} = h_1^2$, т.е. часть поковки, заключенная между ножами, приобретает квадратное поперечное сечение при логарифмическом обжатии: $\varepsilon = 0,346$.

Объем зоны утяжки на первом этапе разрезки определяется выражением

$$V = \int_0^a S dx = -\frac{1}{c} \int_0^{z_1} S dz,$$

$$\text{где } z_1 = 1 - ac = e^{-\varepsilon}; \quad c = \frac{1 - e^{-\varepsilon}}{a}.$$

$$V = -\frac{h_0^2}{c} \left[\int_0^{z_1} z\sqrt{1-z^2} dz - \int_0^{z_1} \arctg \frac{\sqrt{1-z^2}}{z} dz + \frac{\pi}{4} z \right].$$

Для решения этого уравнения используются следующие соотношения:

$$\int z \sqrt{1-z^2} dz = -1/3 \sqrt{(1-z^2)^3};$$

$$\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-z^2}}{z} = \operatorname{arccotg} \frac{z}{\sqrt{1-z^2}} = \arccos z;$$

$$\int \arccos z dz = z \arccos z - \sqrt{1-z^2}.$$

В данном случае

$$V = -\frac{h_0^2}{c} \left[-\frac{1}{3} \sqrt{(1-z^2)^3} - z \arccos z + \sqrt{1-z^2} + \frac{\pi}{4} z \right]_0^{\varepsilon} = \frac{1}{3} a h_0^2 \bar{\varepsilon},$$

где

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{(1-e^{-2\varepsilon})^3} - 3\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} + 3e^{-\varepsilon} \left(\arccos e^{-\varepsilon} - \frac{\pi}{4} \right) - 1}{1-e^{-\varepsilon}}.$$

Отсюда $a = \frac{3V}{h_0^2 \bar{\varepsilon}}.$

Объем зоны утяжки V равен объему, вытесненному ножами из зоны разрезки, и определяется по формуле

$$V = \frac{1}{2} d_0^2 b \left(-e^{-\varepsilon} \sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}}}{e^{-\varepsilon}} \right).$$

Таким образом, длина зоны утяжки на первом этапе разрезки при $\varepsilon \leq 0,346$ равна

$$a = \frac{3}{2} b \frac{d_0^2}{h_0^2} \frac{(1-e^{-\varepsilon}) \left(\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}}}{e^{-\varepsilon}} - e^{-\varepsilon} \sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} \right)}{\sqrt{(1-e^{-2\varepsilon})^3} - 3\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} + 3e^{-\varepsilon} \left(\arccos e^{-\varepsilon} - \frac{\pi}{4} \right) - 1}.$$

Форма поверхности зоны утяжки, образующейся на втором этапе отрезки, близка к четырехгранной пирамиде, в широком основании которой лежит квадрат со стороной $d_{1|\varepsilon=0,346}$. Длина зоны утяжки после завершения первого этапа разрезки – $a_1 = a_{|\varepsilon=0,346}$. Полная текущая длина зоны утяжки в развитии второго этапа разрезки (исключая стадию дорезки при $\varepsilon > 5$) представляется суммой $a = a_1 + a_2$ (см. рис. 2).

Вытесненный объем металла из-под ножей

$$V = \frac{b}{2} \left(\frac{d_0^2}{2} - d_1^2 \right) = b d_0^2 (1 - 2e^{-2\varepsilon})$$

формирует пирамидальную зону утяжки второго этапа разрезки, объем которой определяется из выражения

$$V = \frac{1}{3} a_2 \left(\frac{d_0^2}{2} + d_1^2 + \sqrt{\frac{d_0^2 d_1^2}{2}} \right) = \frac{a_2 d_0^2}{6} (1 + 2e^{-2\varepsilon} + \sqrt{2}e^{-\varepsilon}).$$

Отсюда $a_2 = \frac{6b(1-2e^{-2\varepsilon})}{1+2e^{-2\varepsilon}+\sqrt{2}e^{-\varepsilon}}.$

Рассматривать процесс разрезки при $\varepsilon > 5$ нет смысла, поскольку оставшаяся перемычка разрушается под собственным весом отрезанной

заготовки, или при осевом движении ковочного блока с зажатой в его бойках заготовкой.

В тоже время, считая, что форма зоны утяжки, сформированная на втором этапе отрезки, соответствует правильной пирамиде, можно записать полную длину зоны утяжки после завершения резки в виде $a = a_1 + 3/2b$.

На формоизменение при отрезке оказывает влияние тангенциальное движение ножей в процессе их сведения. В случае отсутствия продольного (вдоль рабочих поверхностей ножей) проскальзывания и фиксации жестких концов заготовки последние поворачиваются в процессе разрезки на угол

$$\varphi = \operatorname{arctg}(e^{\varepsilon} - 1).$$

Возникающий при этом крутящий момент, воспринимаемый зажимными устройствами, защемляющими жесткую часть заготовки, равен [6]:

$$M = 0,223 h_0^3 e^{-\varepsilon} \left(e^{-\varepsilon} \sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}}}{e^{-\varepsilon}} + \frac{\pi}{4} \right) -$$

первый этап разрезки; $M = 0,208 h_0^3 e^{-\varepsilon}$ – второй этап разрезки.

Полученные в данной работе закономерности многоножевой резки со сдвигом легли в основу разработанных лабораторной и опытно-промышленной установок разрезки прутковых заготовок.

Лабораторная установка, общий вид которой представлен на рис. 3, спроектирована и изготовлена применительно к универсальной испытательной машине УИМ-30, снабженной специальным крутящим устройством, установленным на нижней подвижной поперечине. В установке использованы плоские ножи шириной 2,5 мм. Максимальный раствор ножей для приема заготовки круглого поперечного сечения 24 мм. Ножи при резке перемещаются, постоянно сохраняя квадратный просвет, до полного смыкания, при котором и происходит отделение заготовки от прутка.



Рис. 3. Опытные четырехножевые ножницы на испытательной машине УИМ-30

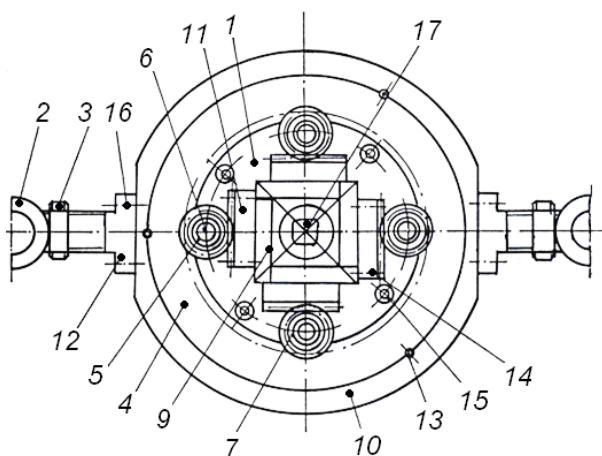


Рис. 4. Схема лабораторного устройства горячей четырехножевой резки прутковых заготовок: 1 – корпус устройства; 2 – скобка-втулка; 3 – гайка; 4 – солнечное зубчатое колесо; 5 – втулка; 6 – ось; 7 – шестерня-сателлит; 9 – нож; 10 – бандаж; 11 – рейка; 12 – упор; 13 – стопорный винт; 14 – болт; 15 – опорная втулка; 16 – болт; 17 – заготовка

Схема устройства для разрезания показана на рис. 4. В корпусе 1, установленном на головку крутящего устройства испытательной машины посредством диаметральной призматической шпонки в квадратном окне, стороны которого являются направляющими скольжения, смонтированы четыре ножа 9, снабженные направляющими поверхностями скольжения для перемещения ножей по направляющим корпуса 1. На каждом из бойков жестко закреплены болтами 14 зубчатые рейки 11, находящиеся в постоянном зацеплении с зубчатыми колесами 7, которые с помощью неподвижных осей 6 и втулок 5 смонтированы с возможностью вращения на корпусе устройства 1. Шестерни 7 введены в зацепление с солнечным зубчатым колесом 4, установленным в опорах скольжения на корпусе 1 и снабженным бандажом 10, зафиксированным от поворота относительно колеса 4 стопорными винтами 13. На корпусе бандажа с помощью соединения 16 установлены два диаметрально расположенных упора 12, снабженных скобками-втулками 2, которые при установке устройства на УИМ-30 прижимаются гайками 3 к направляющим колонкам испытательной машины. Сверху планетарный механизм устройства закрыт крышкой-фланцем, закрепленной болтами на корпусе 1. Необходимый промежуток между корпусом 1 и крышкой-фланцем обеспечивается опорными втулками 15, сквозь которые пропущены болты. Крышка-фланец имеет квадратное отверстие, поверхность которого играет роль направляющих скольжения для ножей. Зазор между корпусом и крышкой-фланцем равен толщине зубчатых реек 11, поэтому торцевые стороны корпуса и крышки также играют роль направляющих скольжения для реек и способствуют четкому фиксированию подвижных ножей 9.

Лабораторное устройство работает следующим образом. В исходном положении ножи разведены и своими режущими кромками образуют в сопряжении замкнутый квадратный просвет, в который вводится на требуемую длину отрезки прутковая заготовка, например, круглого поперечного сечения. От привода крутящего устройства испытательной машины приводится во вращение корпус 1. Вместе с корпусом по окружности установки осей 6 начинают перемещаться зубчатые колеса-сателлиты 7 планетарного механизма, которые при этом приводятся во вращение от неподвижного солнечного колеса 4, зафиксированного относительно колонн испытательной машины. Вращающиеся колеса 7 сообщают посредством реек 11 поступательное движение вдоль направляющих корпуса 1 и крышки-фланца одновременно всем четырем ножам. Ножи, смыкаясь, деформируют заготовку вплоть до ее отделения от прутка. В процессе отрезки кромки ножей в сопряжении сохраняют квадратную форму просвета, что обеспечивается синхронизмом перемещения ножей планетарным механизмом. После смыкания кромок ножей и отделения заготовки ножи разводятся крутящим устройством испытательной машины в исходное положение.

Описанное устройство использовано для проведения лабораторных исследований закономерностей формоизменения и силовых параметров горячей резки со сдвигом.

Горячая деформация при разрезке изучалась с использованием свинцовых и стальных заготовок круглого сечения диаметром до 36 мм и квадратного поперечного сечения со стороной квадрата 32 мм.

Было проведено несколько серий опытов по разрезке: разрезка со свободными жесткими концами заготовки; с осевым упругим подпором; с жестким осевым подпором. В процессе внедрения ножей металл вытесняется из зоны деформации; при этом формируются искривленные торцевые поверхности разрезаемого прутка. Объем вытесненного металла растет с увеличением ширины ножей. Форма торцов прутка после разрезки близка к пирамидальной. Высота торцевых пирамид зависит от ширины ножей и от величины осевого подпора. Ребра пирамид искривлены и спиралевидны в проекции на плоскость разрезки. Кривизна ребер и граней не постоянна и меняется при переходе от первого ко второму этапу разрезки. Наклон ребер к оси заготовки максимален на первом этапе, т.е. до момента заполнения металлом просвета между режущими кромками ножей. На втором этапе весь вытесненный металл течет в осевом направлении, поэтому угол наклона ребер пирамид уменьшается по мере уменьшения просвета между ножами.

Существенно меняется характер деформации при разрезке с осевым подпором. При разрезке с жестким осевым подпором не образуется пирамиды на торцах, а весь вытесненный из-под ножей металл распределяется по торцевым

поверхностям заготовки. Использование упругого (в данном случае пружинного) осевого подпора дает промежуточный результат по величине выпуклости торцов. Качественное сопоставление трех опробованных способов разрезки может быть сделано по внешнему виду отрезанных заготовок (рис. 5).



Рис. 5. Форма торцевой поверхности отрезанной заготовки в зависимости от условий разрезки: *а* – разрезка без осевого подпора; *б* – с упругим осевым подпором; *в* – с жестким подпором

Выпуклость пирамидальной формы на торце не является утяжкой металла от внедрения ножей. Собственно утяжка, т.е. смещение к центру металла жестких зон заготовки, характерная для разрезки сдвигом, при разрабатываемом способе разделения прутковых заготовок не наблюдается, в чем сказывается благоприятное воздействие тангенциального смещения ножей в процессе их взаимного сближения.

При приблизительно одинаковой шероховатости рабочих поверхностей ножей и равной их толщине вершина скрученной пирамиды располагается строго на оси заготовки и, следовательно, может быть использована для установки откованной заготовки в центрах металлорежущих станков с использованием центров с внутренней зацентровкой.

Отсутствие как боковых, так и торцевых заусенцев обеспечивает надежный ввод отрезанной заготовки в раствор бойков головок ковочных блоков и надежный зажим в этих бойках необрабатываемого ковкой конца вала. Исключение наплывов, зарезов и вырывов на торцевой поверхности отрезанных заготовок позволяет ограничить металлоотходы при торцовке объемом зоны утяжки, который надежно рассчитывается по вышеприведенной методике.

При исследовании энергосиловых параметров разрезки со сдвигом на четырехножевом устройстве производился замер величины радиальных усилий, приложенных к ножу во время всего цикла разрезки круглых и квадратных в сечении заготовок. Усилие определялось по результатам замера крутящего момента на входном валу привода крутящего устройства испытательной машины. Момент замерялся пружинным динамометром.

В процессе проведения опытной разрезки образцов в течение всего цикла операции производится запись величины крутящего момента, по которой с помощью тарифовочной функции определяется радиальная сила разрезки. Фиксирование текущей величины обжатия производилось по углу поворота корпуса

устройства разрезки. Связь между этими параметрами устанавливается предварительными замерами.

Результаты замера силы разрезки для различных вариантов осуществления процесса и различных типоразмеров образцов приведены на графиках рис. 6. Из анализа этой зависимости было установлено, что максимальное значение силы в каждом случае соответствует моменту полного заполнения просвета между ножами. Применение жесткого осевого подпора увеличивает силу разрезки на 15...20 %, следовательно, его применение связано с повышением расхода энергии и уменьшением работоспособности ножей. Использование упругого осевого подпора по энергосиловым параметрам мало отличается от свободной разрезки, однако в опытах зафиксирована некоторая эффективность упругого подпора в плане уменьшения высоты и объема зоны утяжки. Можно считать, что применение упругого осевого подпора при разрезке многоножевым инструментом со сдвигом является полезным технологическим мероприятием.

Если сравнить описанный способ разрезки с известным способом разделения заготовок сдвигом в разрезных втулках-ножах [1], то энергетическая эффективность разрезки со сдвигом очевидна.

Проектирование отрезного блока ковочной машины с другим количеством ножей не представляет трудностей. Меняется при этом лишь форма окна поворотной обоймы. Например, трехножевая схема принципиально подобна рассмотренной четырехножевой схеме разрезки, но в технологическом плане отличается большими тангенциальными смещениями ножей в сравнении с радиальными, что способствует развитию больших дополнительных сдвиговых деформаций в зоне разрезки и ощутимому снижению усилия разрезки в сравнении с четырехножевой резкой. В то же время, такой способ разделения заготовок отличается большими углами закручивания жестких концов разрезаемых прутков.

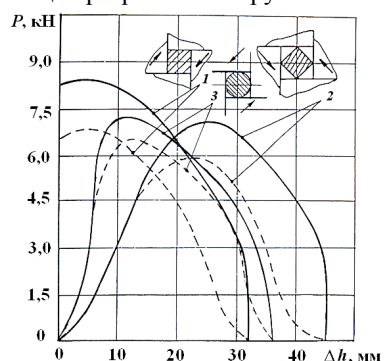


Рис. 6. Графики зависимости радиальных усилий горячей разрезки стальных квадратных и круглых заготовок в четырехножевых ножницах: 1 – разрезка квадратной заготовки «на сторону»; 2 – разрезка «на ребро»; 3 – разрезка круглой заготовки; сплошная линия – разрезка с двухсторонним подпором; пунктирная линия – разрезка без подпора

Очень тонкие ножи опасно применять из-за возможного их перегрева и быстрого износа кромок. Поэтому уменьшать ширину кромки ножа менее 2 мм нецелесообразно. Ширина ножа может быть увеличена по мере удаления от его режущей кромки, т.е. ножи выполняются клиновидными в поперечном сечении. При этом клиновидность не должна быть слишком большой, чтобы предотвратить контакт заготовок с боковыми поверхностями ножей и таким образом обеспечить минимальное усилие разрезки.

На высоту торцевого выступа существенно влияет осевой подпор. При жестком подпоре с обеих сторон при многоножевой разрезке вытесненный из под ножей металл равномерно распределяется по торцевой поверхности и формирует выступ. При одностороннем прижиме с его стороны торцевой выступ исчезает, но с другой стороны высота выступа возрастает. Когда прутковая заготовка подается в рабочий канал ковочного блока до упора, то разрезка осуществляется с односторонним или двухсторонним подпором (при воздействии на

заготовку усилия осевой подачи со стороны подающего устройства). В любом случае процесс разрезки желательно проводить симметрично, чтобы оба конца подаваемой на высадку заготовки имели одинаковую конфигурацию.

Библиографический список

1. Соловцов С.С. Безотходная резка сортового проката в штампах /С.С. Соловцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
2. Качанов Л.М. основы теории пластичности /Л.М. Качанов. – М. : Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – 324 с.
3. Аркулис Г.Э. Теория пластичности /Г.Э. Аркулис, В.Г. Дорогобед. – М. : Металлургия, 1987. – 352 с.
4. Соколовский В.В. Теория пластичности /В.В.Соколовский. – М. : Высшая школа, 1969. – 608 с.
5. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением / Н.П. Громов. – М. : Металлургия, 1978. – 360 с.